

镧对镉胁迫下大蒜幼苗生长及镉积累的影响

赵 胡¹ 李裕红² 陈 杰¹

(1. 阜阳师范学院生物系, 阜阳 236041)

(2. 厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005)

摘 要 采用土培实验研究了镧 (La^{2+}) 对镉 (Cd) 胁迫下大蒜幼苗生长及 Cd 积累的影响。结果表明: 低浓度 Cd ($< 5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 对大蒜生长有微弱的促进作用而高浓度 Cd 对其有明显抑制作用。外施系列浓度 La^{2+} 对高浓度 Cd 胁迫下大蒜幼苗生长具有明显的缓解效应, 单株鲜重、干重、根长及地上部分高度均具有明显或不同程度的增加。测定结果表明, Cd 主要积累在大蒜根部而向地上部分转运的较少, 外施系列浓度 La^{2+} 对高浓度 Cd 胁迫下大蒜幼苗根系对 Cd 积累具有显著的抑制效应, 同时也抑制 Cd 向地上部分转运。从外施 La^{2+} 对高浓度 Cd 胁迫下大蒜幼苗生长及大蒜对 Cd 积累情况来看, La^{2+} 的适宜缓解效应浓度是在 Cd 浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, La^{2+} 浓度为 $10 \sim 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 在 Cd 浓度为 $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, La^{2+} 浓度为 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

关键词 La^{2+} ; Cd; 大蒜**中图分类号**: Q945. 12 **文献标志码**: A **文章编号**: 1673 - 5102(2008) 04 - 0447 - 05**Effect of La^{2+} on the Growth of *Allium sativum* L. and Cadmium Accumulation under Cd Stress**ZHAO Hu¹ LI Yu-Hong² CHEN Jie¹

(1. Department of biology, Fuyang Teachers College, Fuyang 236041)

(2. Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract The effects of La^{2+} on the growth of *Allium sativum* L. and Cadmium (Cd) accumulation under Cd stress were studied in the present paper by soil cultivation experiments. The results showed that the seedlings growth of *A. sativum* L. could be promoted a little under low concentration of Cd ($< 5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), while the seedlings growth could be obviously inhibited under high concentration of Cd. When La^{2+} (concentration range from 5 to $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) was exerted on *A. sativum* L. seedlings under high concentration Cd stress one time, the growth of seedlings was obviously reconditioned. Their average fresh or dry weight and the average length of roots, overground height significantly increased to some certain degree. Assay results also showed the roots of *A. sativum* L. absorbed large amounts of Cd, the Cd accumulated mainly in the roots and small amounts of Cd were translocated to the leaves. Accumulation of Cd of seedlings roots and translocation of Cd to overground part were obviously inhibited when La^{2+} was exerted on *A. sativum* L. seedlings. According to the growth of *A. sativum* L. and Cd accumulation of seedlings under high concentration Cd stress when La^{2+} was exerted on seedlings, valid concentration of La^{2+} was respectively $10 \sim 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ or $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ when Cd stress concentration was 20 or $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Key words La^{2+} ; Cd; *Allium sativum* L.

基金项目: 安徽省教育厅自然基金项目 (KJ2007B021); 阜阳师范学院院级课题项目 (2007LQ04)

第一作者简介: 赵胡 (1977—), 男, 讲师, 主要从事污染生态学研究。

收稿日期: 2007 - 11 - 09

重金属是重要的环境污染物之一,其中重金属镉(Cadmium)(以下简写Cd)的污染面积广,生物毒性强,成为广大科学工作者关注的焦点^[1]。当Cd在生物体内积累超过一定量时,即对植物产生毒害效应。近年来,由于工业的迅猛发展以及农田污灌导致大量Cd进入环境,据统计,我国Cd污染农田超过 1.09×10^4 公顷^[2]。土壤一旦被Cd污染后,不仅直接影响植物生长发育、降低作物产量,而且Cd在植物根、茎、叶及籽实中积累,严重影响农产品的品质,并通过食物链危及人类健康。二十世纪60年代,日本曾发生的“骨痛病”便是由于食用被Cd污染的“镉米”所致。大蒜为百合科葱属植物蒜(*Allium sativum* L.)的鳞茎。据资料介绍,我国大蒜种植面积约12万亩,产量达54万吨,居世界第一位^[3]。大蒜含有丰富的大蒜素、氨基酸和维生素,是广受人们欢迎的素菜和调味品,同时大蒜具有抗菌、降血糖、提高机体的免疫功能和解毒等功效,因此大蒜在药理和临床医学上有广泛的用途。许多研究表明,适宜浓度的稀土元素及其化合物对农作物有显著的增产效应,对提高植物抗旱、抗寒、抗病以及抗酸雨、抗重金属等能力有一定促进效应^[4]。其中以稀土元素镧(Lanthanum)(以下简写 La^{2+})对重金属植物毒害的缓解效应的研究尤为广泛,土壤中重金属浓度不同,植物材料不同, La^{2+} 的缓解效应的最适浓度也有所差异^[5,6]。本文结合前期的研究工作,选择大蒜受Cd污染胁迫较为严重的浓度组20、40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,通过外施系列浓度的 La^{2+} ,探索 La^{2+} 对Cd胁迫下大蒜幼苗生长的影响及 La^{2+} 的施入对Cd在大蒜体内的积累效果,以期污染胁迫下的稀土农用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

1.1.1 试验材料与供试品种

大蒜购自阜阳市种子公司,挑选大小均匀、健壮无损伤的蒜瓣实验材料,大蒜剥除外部的膜质鳞片,洗净、晾干备用。供试土壤取自阜阳师范学院西湖校区实验基地0~20 cm表土,土壤为棕壤土,土样风干后过3 mm尼龙筛做盆土备用。土壤有机质含量、总N、P与K含量分别为4.25、0.28、2.14、12.48 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤Cd本底值含量为0.213 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤pH(H_2O)为8.40。

1.1.2 试验设计

试验于2007年在阜阳师范学院植物生理学实验室中进行。土培用直径为20 cm,高为15 cm的陶瓷盆,每盆装土5 kg。

(1) Cd胁迫毒性实验:以分析纯 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 几何级数配制成水溶液均匀加入土壤混匀中,使土壤中外源 Cd^{2+} 分别达到1、5、10、20和40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,以不加 Cd^{2+} 的去离子水浇灌为对照组,每一浓度处理组均设6盆重复。

(2) La^{2+} 对Cd植物毒害的缓解实验:以分析纯 LaCl_3 配制系列浓度的 La^{2+} 按量施入高浓度组20和40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd处理组盆土混匀,使实验盆土 La^{2+} 浓度为5、10和15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,每个 La^{2+} 处理组均设3盆重复。以上实验每盆栽种10株,均用去离子水调节土壤含水量至最大持水量的60%,并将其置于室内自然光照培养,培养期间白天温度25℃,夜间温度为18℃,每天加入去离子水补充耗去的水量,培养15天后取样进行实验测定。

1.2 测定方法

生长指标的测定:每处理随机取6株分别测定植株高度,根系长度,单株鲜重和干重,取平均值。植物Cd含量测定:植株分为根和叶两部分,分别用去离子水洗涤滤纸吸干。先在105℃杀青15 min,然后于70℃烘干至恒重,磨碎后过筛用 $\text{HNO}_3-\text{HClO}_4$ (4:1)联合硝化,火焰原子吸收分光光度计测定Cd含量。试验测定均做3次重复,对试验结果进行数理统计。

2 结果与分析

2.1 土壤Cd污染对大蒜幼苗生长的影响

土培15天Cd污染胁迫处理对大蒜幼苗生长状况影响见表1, Cd对大蒜幼苗生长与培养基质中Cd含量有关,大蒜土培15 d后,观测对照组和低浓度组($<5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)生长正常,而高浓度($>10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)处理组植株的外伤症状开始表现出来,植株变矮、叶子细小、瘦弱。当土壤中Cd浓度达到40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 后,植株基本停止生长,植株萎蔫。Cd胁迫下对大蒜幼苗生长指标的影响明显,低浓度($<5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)处理时,单株鲜重、干重、最大平均根长及地上部分高度均有所增加,但与对照相比没有达到显著水平。而当处理浓度达到5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及其以上时生长指标均迅速下降并与Cd胁迫浓度均呈显著或极显著的负相关性,相关系数

分别为 0.905^{*}、0.906^{*}、0.955^{*}、0.889^{*}。这与杨金凤等^[7]土壤外源镉污染对油菜生长影响的研究结果一致,在低浓度时对植物生长有一定的促进作用而高浓度时起抑制作用。

表 1 不同 Cd 处理对大蒜幼苗生长的影响
Table 1 Effects of different concentration Cd on *A. sativum* L. seedlings growth

Cd 浓度 Cd concentration (mg · kg ⁻¹)	单株鲜重 Individual fresh weight(g)	单株干重 Individual dry weight(g)	根系长 Root length (cm)	地上高度 Overground height(cm)
0(ck)	5.04 ±1.52	0.367 ±0.101	25.4 ±5.1	37.6 ±5.40
1	5.10 ±1.71	0.382 ±0.092	26.2 ±4.73	38.0 ±4.32
5	3.33 ±1.31 [*]	0.251 ±0.043 [*]	24.2 ±3.65	25.4 ±3.89 [*]
10	2.99 ±1.12 [*]	0.222 ±0.038 [*]	23.9 ±4.11	22.1 ±3.78 ^{**}
20	2.61 ±0.912 ^{**}	0.202 ±0.021 ^{**}	22.1 ±2.65 [*]	21.5 ±2.74 ^{**}
40	2.36 ±0.326 ^{**}	0.174 ±0.015 ^{**}	18.5 ±3.26 ^{**}	18.7 ±1.19 ^{**}

注: * $p < 0.05$ 为差异显著, ** $p < 0.01$ 为差异极显著, 以下同
Note: * Stannds for obvious difference ($p < 0.05$), ** stannds for most obvious difference($p < 0.01$), the same as below

2.2 La²⁺对 Cd 胁迫下大蒜幼苗生长的影响

表 2 显示不同浓度 La²⁺ 处理对 Cd 胁迫下大蒜幼苗生长的影响,由表 2 可知 3 种 La²⁺ 浓度处理对 Cd 污染胁迫下大蒜幼苗的生长均具有明显的缓解效应,其中缓解效果最为明显的表现在单株

鲜重、干重和地上部分高度(20 mg · kg⁻¹ Cd 处理下)。如单株鲜重在 La²⁺ 浓度为 5、10、15 mg · kg⁻¹ 处理下比不加 La²⁺ 组分别提高了 44.1%、73.6%、79.3% (20 mg · kg⁻¹ Cd 处理下)和 36.0%、19.9%、8.90% (40 mg · kg⁻¹ 处理下)且与不加 La²⁺ 组相比均达到显著 ($p < 0.01$)或极显著的水平 ($p < 0.05$);单株干重比不加 La²⁺ 组分别提高了 40.1%、75.2%、78.7% (20 mg · kg⁻¹ Cd 处理下)和 26.9%、25.9%、12.1% (40 mg · kg⁻¹ 处理下);大蒜最长根长在 La²⁺ 的各处理浓度组中比不加 La²⁺ 组有所提高但差异不显著 ($p > 0.05$);在 Cd 处理浓度为 20 mg · kg⁻¹ 时,施加 La²⁺ 明显促进了地上高度的生长,如 La²⁺ 浓度为 5、10、15 mg · kg⁻¹ 比不加 La²⁺ 的对照组分别提高了 41.4%、51.6%、47.9%且与对照组相比均达到显著水平 ($p < 0.01$),但在 Cd 处理浓度为 40 mg · kg⁻¹ 时,施加 La²⁺ 对地上高度的促进作用不明显 ($p > 0.05$)甚至有所降低(见 15 mg · kg⁻¹ La²⁺ 处理组)。以上结果表明 Cd 处理浓度为 20 mg · kg⁻¹, 3 种系列浓度 La²⁺ 均对大蒜幼苗的生长有明显促进作用,从各项生长指标的测定结果看,La²⁺ 对减轻 20 mg · kg⁻¹ Cd 胁迫对大蒜幼苗生长伤害,促进大蒜幼苗生长的最适宜浓度范围为 10 ~ 15 mg · kg⁻¹,而 La²⁺ 对减轻 40 mg · kg⁻¹ Cd 胁迫伤害,促进大蒜幼苗生长的最适宜浓度为 5 mg · kg⁻¹。

表 2 不同浓度 La²⁺ 处理对 Cd 胁迫下大蒜幼苗生长的影响
Table 2 Effects of La²⁺ on the growth of *A. sativum* L. seedling under Cd stress

Cd 浓度 (mg · kg ⁻¹) Cd concentration	La ²⁺ 浓度 (mg · kg ⁻¹) La ²⁺ concentration	单株鲜重 (g) Individual fresh weight	单株干重 (g) Individual dry weight	最长根长 (cm) The longest root length	地上高度 (cm) Overground height
20	0	2.61 ±0.912	0.202 ±0.021	22.1 ±2.65	21.5 ±2.74
	5	3.76 ±0.851 ^{**}	0.283 ±0.041 [*]	23.3 ±3.24	30.4 ±3.67 ^{**}
	10	4.53 ±0.689 ^{**}	0.354 ±0.085 ^{**}	24.8 ±4.38	32.6 ±5.47 ^{**}
	15	4.68 ±0.475 ^{**}	0.361 ±0.058 ^{**}	24.1 ±3.72	31.8 ±4.67 ^{**}
40	0	2.36 ±0.326	0.174 ±0.015	18.5 ±3.26	18.7 ±1.19
	5	3.21 ±0.563 [*]	0.238 ±0.031 ^{**}	22.7 ±4.51	20.3 ±2.42
	10	2.83 ±0.785	0.219 ±0.047 [*]	21.2 ±4.32	21.5 ±3.48
	15	2.57 ±0.723	0.195 ±0.054	19.8 ±3.21	17.6 ±2.73

2.3 土壤中 Cd 污染对大蒜幼苗根和叶 Cd 积累的影响

大蒜幼苗根和叶中 Cd 含量均随着 Cd 污染浓度的增加而迅速上升(表 3),并表现在根 Cd 含量明显高于叶,且根 Cd 含量增加幅度也明显大于叶。经

统计方法分析发现叶中 Cd 含量与土壤中 Cd 浓度呈现一元线形回归关系 ($R^2 = 0.9179$),根中 Cd 含量与土壤 Cd 浓度呈指数级增长方式 ($R^2 = 0.9738$)。这说明大蒜根对 Cd 有一定的滞留作用,能够阻止 Cd 向地上部分运输,王威等^[8]研究

大蒜对 Cu^{2+} 吸收和累积也具有类似的结果。可以认为大蒜的根是积累重金属 Cd 的主要部位。

表 3 不同 Cd 处理下大蒜幼苗根、叶 Cd 的含量

Table 3 Effect of different concentration Cd on the content of Cd in roots, leaves of *A. sativum* L. seedlings

Cd 浓度 (mg · kg ⁻¹) Cd concentration	叶、根 Cd 含量 (μg · g ⁻¹) The content of Cd in leaves, roots	
	叶 Leaves	根 Roots
0 (ck)	0.53 ±0.08	1.12 ±0.11
1	3.07 ±0.74	8.74 ±2.05
5	10.21 ±2.47	32.50 ±5.51
10	11.02 ±3.08	52.10 ±5.87
20	11.50 ±4.32	115.21 ±10.43
40	16.04 ±5.24	300.27 ±10.46
二者之间回归关系 Regression relation	$y = 2.9614x - 1.6367$ $y = 0.7747e^{1.0333x}$	
R ²	0.9145	0.9461

2.4 La^{2+} 对大蒜幼苗积累 Cd 的影响

图 1、2 显示了土壤中施加不同浓度的 La^{2+} 对大蒜幼苗根系、叶片积累 Cd 的影响。在土壤中 La^{2+} 浓度为 5、10、15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理下根系 Cd 的含量比不加 La^{2+} 组分别降低了 68.7%、55.0%、63.2%；叶片 Cd 含量降低了 87.9%、69.7%、82.3% (40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 处理下)。而在土壤中 Cd 污染浓度为 20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，外施 La^{2+} 浓度为 5、10、15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时，叶片 Cd 的含量比不加 La^{2+} 组分别降低了 82.7%、86.1%、88.1%；而根对 Cd 的吸收与叶片有所差异，在 La^{2+} 浓度为 5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时，根系 Cd 的含量略微有所增加比不加 La^{2+} 组增加了 8.7%；而当 La^{2+} 浓度为 10、15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时，根系 Cd 的含量又大幅度下降，分别比不加 La^{2+} 组降低了 53.9%和 37.4%。以上结果表明： La^{2+} 明显降低了大蒜幼苗根系对土壤中 Cd 的积累，且抑制了 Cd 向地上部分的转运。从外施 La^{2+} 对大蒜幼苗积累 Cd 的影响的结果来看， La^{2+} 对 20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 胁迫下大蒜幼苗对 Cd 积累抑制效应最大浓度范围为 10 ~ 15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，而 La^{2+} 对 40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 胁迫下大蒜幼苗对 Cd 积累抑制效应最大浓度为 5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，这与前面 La^{2+} 对 Cd 胁迫下大蒜幼苗生长的影响的结果是相互印证的。熊双莲等^[9]研究了 La^{2+} 和 Cd 的相互作用对雪菜元素积累影响也有与此类似的结果。低浓度的 La^{2+} 在一定的元素浓度范围内能够提高植物根系的元素含量，当外施 La^{2+} 的浓度增加， La^{2+} 显著降低植物根系和

叶片元素含量而且抑制元素向地上部分转移。Rivecta^[10]和 Laetita^[11]认为 Cd 可以通过质膜上 Ca 离子通道进入细胞，而 La^{2+} 和 Ca^{2+} 半径分别为 0.11 和 0.099 nm， La^{2+} 被认为是 Ca 离子通道的抑制剂，从而抑制 Ca 离子从质外体进入共质体。由此我们推测 La^{2+} 可以通过抑制 Ca 离子通道而抑制 Cd 向地上部分转运。然而低浓度 La^{2+} 增加根部 Cd 含量可能是通过刺激根部细胞 Ca 离子通道蛋白基因在一定程度上表达量的增加而引起的。相关的问题有待进一步的研究。 La^{2+} 降低 Cd 在大蒜体内富积量或许是 La^{2+} 减轻 Cd 伤害的最直接的原因。沙莎等^[6]研究了镧对汞胁迫下豌豆幼苗对汞积累的影响，结果也表明 La^{2+} 能有效地减少细胞对 Hg 的吸收和积累，增加根细胞壁对 Hg 的束缚效应。总之，镧对植物吸收积累重金属均具有一定的抑制效应，其共同的机理在于镧竞争结合细胞膜上金属离子通道蛋白，镧增加细胞壁对金属离子的束缚，从而抑制了重金属向地上部分转移。

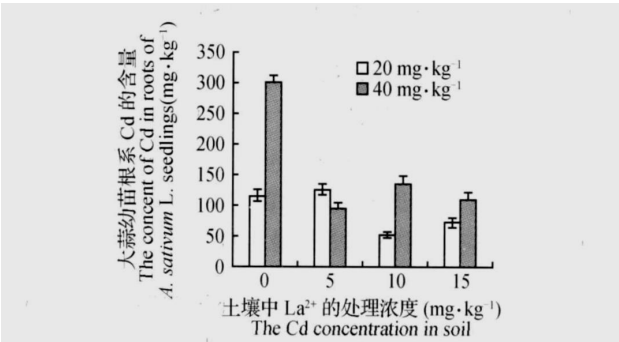


图 1 La^{2+} 对大蒜幼苗根系积累 Cd 的影响

Fig. 1 Effect of different concentration La^{2+} on the content of Cd in roots of *A. sativum* L. seedlings

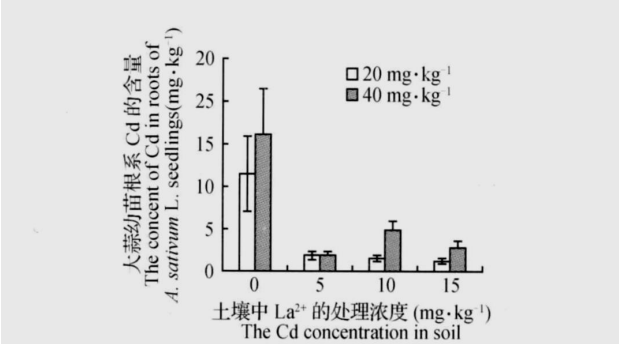


图 2 La^{2+} 对大蒜幼苗叶片积累 Cd 的影响

Fig. 2 Effect of different concentration La^{2+} on the content of Cd in leaves of *A. sativum* L. seedlings

3 结论

(1)低浓度 Cd ($<5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)污染 15 d对大蒜幼苗生长没有明显伤害现象且有微弱的促进作用,随着胁迫浓度增加,可导致植株生长缓慢、生物量下降。

(2)大蒜根部是吸收积累 Cd 的主要部位,较少向地上部分转运。

(3) La^{2+} 处理对 Cd 污染胁迫下大蒜幼苗的生长均具有明显缓解 Cd 的毒害效应, La^{2+} 对 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 胁迫下大蒜幼苗生长的最适宜浓度范围为 $10 \sim 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而 La^{2+} 对 $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 胁迫下大蒜幼苗生长的最适宜浓度为 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(4) La^{2+} 处理对 Cd 污染胁迫下大蒜幼苗对 Cd 的积累均具有明显的抑制效应, La^{2+} 对 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 胁迫下大蒜幼苗 Cd 积累抑制效应最大浓度范围为 $10 \sim 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而 La^{2+} 对 $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd 胁迫下大蒜幼苗对 Cd 积累抑制效应最大浓度为 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

参 考 文 献

1. Duxbury T. Ecological aspects of heavy metal responses in micro-organisms[J]. Adv Micro Ecol, 1985, 8: 185 - 235.
2. 秦天才,吴玉树,黄巧云,等. 镉铅单一和复合污染对小白菜抗坏血酸含量的影响[J]. 生态学杂志, 1997, 16(3): 31 - 34.
3. 管正学,王建立,张学予. 我国大蒜资源及其开发利用研究[J]. 自然资源, 1994, (5): 54.
4. 鄯红建,常江张,自立稀,等. 稀土在植物抗逆中的生理作用[J]. 中国稀土学报, 2003, 21(5): 487 - 490.
5. 周青,张辉,黄晓华,等. 镉对镉胁迫下菜豆 (*Phaseolus vulgaris*) 幼苗生长的影响[J]. 环境科学, 2003, 24(4): 48 - 53.
6. 沙莎,吴国荣,徐勤松,等. 镉对汞胁迫下豌豆 (*Pisum sativum* L.) 幼苗生长及汞积累的影响[J]. 稀有金属, 2004, 28(2): 397 - 401.
7. 杨金凤,卜玉山,郭小燕. 土壤外源镉、铅污染对油菜生长的影响研究[J]. 陕西农业科学, 2005(3): 25 - 28.
8. 王威,刘宗愉,蒋悟生. Cu^{2+} 对大蒜生长的影响及大蒜根、叶及蒜瓣对 Cu^{2+} 的累积[J]. 西北植物学报, 2001, 21(2): 306 - 312.
9. 熊双莲,熊治廷,陈玉成. La 和 Cd 相互作用对雪菜生长和元素累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 866 - 870.
10. Rivetta A, Negrini N, Cocucci M. Involvement of Ca^{2+} -calmodulin in Cd^{2+} toxicity during the early phases of radish (*Raphanus sativus* L.) seed germination[J]. Plant Cell Environ, 1997, 20: 600 - 608.
11. Laetita P B, Nathalie L, Alain V, et al. Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status[J]. The Plant Journal, 2002, 32: 539 - 548.

《植物研究》现入编“万方数据——数字化期刊群”,“中国核心期刊(遴选)数据库”,“中文科技期刊数据库(维普)”,“中国期刊网(CNKI)”,“中国科学引文数据库(CSCD)”,“中国生物学文献数据库”和“思博网(CEPS)”,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,不再另行发放。作者如不同意将文章入编,投稿时敬请说明。

《植物研究》编辑部